

# 目 录

## CONTENTS

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>第一章 走进虚拟现实世界</b>   | <b>1</b>  |
| 第一节 虚拟现实技术概述          | 2         |
| 一、虚拟现实的基本概念           | 2         |
| 二、虚拟现实的发展历程           | 4         |
| 三、虚拟现实系统的分类           | 9         |
| 第二节 虚拟现实系统的组成与输入输出技术  | 10        |
| 一、虚拟现实系统的组成           | 10        |
| 二、虚拟现实输入输出技术          | 10        |
| 第三节 虚拟现实的行业应用         | 14        |
| 一、虚拟现实技术在教育领域中的应用     | 14        |
| 二、虚拟现实技术在医疗健康领域中的应用   | 16        |
| 三、虚拟现实技术在旅游行业中的应用     | 17        |
| 四、虚拟现实技术在建筑地产行业中的应用   | 18        |
| 五、虚拟现实技术在游戏领域中的应用     | 19        |
| 六、虚拟现实技术在电商领域中的应用     | 19        |
| <b>第二章 虚拟现实行业案例开发</b> | <b>21</b> |
| 第一节 自然景观表现            | 22        |
| 一、课程概况                | 22        |
| 二、Unity 界面            | 23        |
| 三、创建山脉地形              | 24        |
| 四、创建配景效果              | 33        |
| 五、完善光照系统              | 38        |
| 六、后期效果处理              | 42        |
| 七、测试和发布场景             | 49        |
| 八、相关网站链接              | 51        |

|                                   |                 |     |
|-----------------------------------|-----------------|-----|
| 第二节                               | 室内虚拟漫游创作 .....  | 52  |
| 一、课程概况 .....                      | 52              |     |
| 二、美术资源制作概要 .....                  | 52              |     |
| 三、导入和复用美术资源 .....                 | 65              |     |
| 四、创建和烘焙灯光 .....                   | 68              |     |
| 五、Unity 材质处理 .....                | 72              |     |
| 六、第一人称控制器的系统搭建 .....              | 78              |     |
| 七、镜头后期效果处理 .....                  | 80              |     |
| 八、相关网站和信息链接 .....                 | 84              |     |
| 第三节                               | 文物数字化虚拟还原 ..... | 85  |
| 一、课程概况 .....                      | 85              |     |
| 二、青铜器建模概要 .....                   | 85              |     |
| 三、编辑模型纹理坐标 .....                  | 93              |     |
| 四、使用 Photoshop 处理纹理 .....         | 104             |     |
| 五、使用 Substance Painter 创建材质 ..... | 106             |     |
| 六、Unity 场景创建 .....                | 115             |     |
| 七、创建第一个 C# 脚本 .....               | 116             |     |
| 八、相关网站链接 .....                    | 118             |     |
| 第四节                               | 医学原理交互展示 .....  | 119 |
| 一、课程概况 .....                      | 119             |     |
| 二、使用 3ds Max 创建心脏血液循环动画 .....     | 119             |     |
| 三、在 Unity 中创建照明系统 .....           | 132             |     |
| 四、创建 UI 界面 .....                  | 136             |     |
| 五、编写动画控制脚本 .....                  | 141             |     |
| 六、编写材质控制脚本 .....                  | 148             |     |
| 七、脚本与场景完善 .....                   | 150             |     |
| 八、相关网站链接 .....                    | 154             |     |
| 第五节                               | 产品虚拟拆装 .....    | 155 |
| 一、课程概况 .....                      | 155             |     |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 二、创建场景和摄影机控制脚本 .....       | 155        |
| 三、创建公用类脚本 .....            | 162        |
| 四、圈椅整体动画播放控制脚本的创建 .....    | 164        |
| 五、圈椅拆装交互功能分析 .....         | 166        |
| 六、创建圈椅组件播放、控制脚本 .....      | 169        |
| 七、创建启动场景 .....             | 175        |
| 八、相关网站链接 .....             | 176        |
| <b>第三章 实用资源聚合 .....</b>    | <b>177</b> |
| 第一节 知名虚拟现实内容平台 .....       | 178        |
| 一、Steam .....              | 178        |
| 二、Oculus Experiences ..... | 179        |
| 三、Google Play .....        | 179        |
| 四、WearVR .....             | 180        |
| 五、魔镜游戏 .....               | 180        |
| 第二节 虚拟现实作品赏析 .....         | 181        |
| 一、虚拟现实电影动画作品赏析 .....       | 181        |
| 二、虚拟现实地产类作品赏析 .....        | 183        |
| 三、虚拟现实博物馆展示作品赏析 .....      | 184        |
| 四、虚拟现实商业应用作品赏析 .....       | 185        |
| 五、虚拟现实旅游作品赏析 .....         | 186        |
| 六、虚拟现实游戏作品赏析 .....         | 187        |
| 七、虚拟现实工业作品赏析 .....         | 188        |
| 八、虚拟现实教育作品赏析 .....         | 189        |
| 第三节 Unity 常用拓展资源 .....     | 190        |
| 一、实用工具 .....               | 190        |
| 二、地形工具 .....               | 191        |
| 三、可视化脚本 .....              | 192        |

|             |     |
|-------------|-----|
| 四、着色器 ..... | 193 |
| 五、其他 .....  | 193 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 195 |
|------------|-----|

|          |     |
|----------|-----|
| 后记 ..... | 196 |
|----------|-----|



# **第一章 走进虚拟现实世界**

## **第一节 虚拟现实技术概述**

## **第二节 虚拟现实系统的组成与输入输出技术**

## **第三节 虚拟现实的行业应用**

# 第一章 走进虚拟现实世界

## 本章概述

本章由虚拟现实技术概述、虚拟现实系统的组成及技术、虚拟现实的行业应用三部分内容构成，通过对虚拟现实的基本定义、相关技术、发展历程、当前主流虚拟现实系统，以及较为典型的6个虚拟现实行业应用领域的介绍，帮助学习者了解和认识虚拟现实的概貌。

## 学习目标

通过本章的学习，使学习者了解虚拟现实的基本概念、术语、相关发展历程知识等，掌握虚拟现实从业者必备的基础理论知识。

### 第一节 虚拟现实技术概述

1999年，电影《黑客帝国》在美国首映。该影片讲述了在虚拟矩阵世界中生活的年轻网络黑客尼奥发现他的“现实世界”似乎被某种力量所控制，而现实世界中的人类反抗组织也一直在矩阵中寻找传说中的救世主。最终，尼奥在人类反抗组织成员的指引下逃离了矩阵，回到了真正的现实世界，他这才了解到，原来他一直活在虚拟的世界当中。

在这部电影里，虚拟现实的概念体现得非常清晰——通过插入脑部的电缆，电影中的角色可以进入到虚拟的世界当中。图1-1-1为《黑客帝国》的海报。

2016年，世界移动通信大会（MWC）的三星发布会让人们感受到了虚拟现实的震撼。为了让发布会现场的每个人都能亲身体验到虚拟现实的情境，三星在会场的每个座椅上都准备了一部定制版 Gear VR，现场5000名记者可以同时戴上 Gear VR 来感受由 Gear 360拍摄的 Galaxy S7发布会全景内容。而在发布会之前，三星官方则向 Gear VR 用户提供了 Unpacked 360 View 应用程序的下载，让拥有该设备的3000万用户在家也能体验这次发布会。图1-1-2

为 Facebook CEO 马克·扎克伯格步入会场的照片，这个场景很容易让人们联想到电影《黑客帝国》中的片段。

虚拟现实相关的技术与思想产生的年代比绝大多数人想象的要更为久远，因其一直未能大规模普及和应用，人们通常认为虚拟现实是近一二十年才出现的新技术。2012年，KickStarter 网站上的 Oculus Rift 开发者套件众筹项目成功募集近250万美元，随后又获得1600万美元的风投，并成功吸引了众多游戏玩家和虚拟现实开发者的关注。2014年，Facebook 以20亿美元收购了 Oculus，从而拉开了虚拟现实技术应用大规模普及的序幕，至此，虚拟现实技术第一次近距离与普通消费者亲密接触。

## 一、虚拟现实的基本概念

### 1. 虚拟现实的定义

虚拟现实（Virtual Reality，VR）的概念由杰伦·拉尼尔（Jaron Lanier）在1987年首次明确提出，



图 1-1-1 电影《黑客帝国》海报



图 1-1-2 扎克伯格步入三星发布会现场

它指的是利用计算机技术生成真实图像、声音和其他知觉来重现真实环境，并模拟用户在环境中身体的临场感，用户在体验过程中难以察觉所处的环境是虚拟的，这在某种程度上具有图灵测试的意味。顾名思义，“虚拟的现实”意味着对现实世界的仿真，VR 技术的终极发展目标是将虚拟世界仿真的能力提升至无限逼近物理世界的程度，实现物理世界和虚拟世界的最终融合。

## 2. 现有虚拟现实系统的关键技术

### (1) 动态环境建模技术

虚拟环境的建立是虚拟现实技术的核心内容。动态环境建模技术的目的是获取实际环境的三维数据，并根据应用程序的需要，利用获取的三维数据建立相应的虚拟环境模型。三维数据的获取可以采用 CAD 技术（有规则的环境），而更多的环境则需要采用非接触式的视觉建模技术，两者的有机结合可以有效地提高数据获取的效率。

### (2) 实时三维图形生成技术

实时三维图形生成技术指的是在计算机中表示图形，以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理和算法。三维图形的生成技术已较为成熟，其关键是如何实现“实时”生成。为了达到实时目的，至少要保证图形的刷新率不低于15帧/

秒，最好是高于30帧/秒。在不降低图形质量和复杂度的前提下，如何提高刷新频率是该技术的核心研究内容。

### (3) 传感器技术

虚拟现实的交互能力极度依赖于传感器技术的发展。现有的虚拟现实传感技术还远远不能满足需要。数据手套有延迟大、分辨率低、作用范围小、使用不便等缺点；虚拟现实设备的跟踪精度和跟踪范围也有待提高。

### (4) 动作捕捉技术

在虚拟环境中，每个物体相对于系统的坐标系都有一个位置与姿态，对于用户而言也是如此，用户看到的景象是由用户的位置和头（眼）的方向来确定的。动作捕捉技术涉及尺寸测量、物理空间里物体的定位及方位测定，一般通过捕捉跟踪器标记点的位置，再经过计算处理后得到场景与用户的三维空间坐标数据。常用的运动捕捉技术从原理上说可分为机械式、声学式、电磁式、主动光学式和被动光学式。

### (5) 力觉反馈技术

力觉反馈主要通过各种高精尖电动机和传感器配合起来模拟力觉。初级的力觉反馈如游戏手柄的振动反馈，是当前虚拟现实系统中最常见的力觉反

馈解决方案。还有一些较为先进的力觉反馈技术，如用于物理康复训练的相关设备、用于工业级装配维修的力反馈设备、用于远程医疗的力反馈设备。

### （6）立体显示技术

立体显示是虚拟现实的一个重要实现方式。立体显示主要有分光技术、分光技术、分时技术、光栅技术、全息显示技术。当前虚拟显示系统多采用双目立体显示设备，让用户的两只眼睛分别从不同的屏幕中看到不同的图像。有的系统采用单个显示设备，当用户戴上特殊的眼镜后，一只眼睛只能看到奇数帧图像，另一只眼睛只能看到偶数帧图像。无论哪种系统，都是通过人们左右眼获得图像之间的视差在大脑中产生立体感。

## 3. 虚拟现实的技术特征

### （1）多感知性

所谓多感知性指除一般计算机所具有的视觉感知外，还有听觉感知、力觉感知、触觉感知、运动感知，甚至包括味觉感知、嗅觉感知等。理想的虚拟现实应该具有人所具有的所有感知功能。由于相关技术，特别是传感技术的限制，目前虚拟现实技术所具有的感知功能仅限于视觉、听觉、力觉、触觉和运动感知能力。

### （2）临场感

临场感又称沉浸感、存在感，指用户感到作为主角存在于模拟环境中的真实程度。理想的模拟环境应该使用户难以分辨真假，使用户全身心地投入到计算机创建的三维虚拟环境中，该环境中的一切看上去是真的，听上去是真的，动起来是真的，甚至闻起来、尝起来等一切感觉都是真的，如同在现实世界中的感觉一样。

### （3）交互性

交互性是指用户对虚拟环境中对象的可操作程度。例如，用户可以用手去选择和抓取虚拟环境中的对象，可以操控虚拟对象与其他的虚拟对象交互。

### （4）自主性

自主性是指虚拟环境中物体依据物理定律动作的程度。例如，当受到力的推动时，对象会沿着力的方向移动或旋转；当敲击对象时，对象会发出声音等。

## 二、虚拟现实的发展历程

### 1. 19世纪虚拟现实的原始探索

如果将虚拟现实的含义聚焦在创建虚拟环境这个层面，那么人类最早关于虚拟现实的尝试可归为1912年弗朗茨·鲁勃（Franz Roubaud）创作的纪念博罗蒂诺战役（Battle of Borodino）100周年的全景画作（图1-1-3），它生动地再现了1812年9月7日俄军与法军在莫斯科以西110km的博罗蒂诺村激战的情景。该画作共有400位将军和3000多名战士，全长115m，高15m，以圆形方式进行布置和展出，巨大的画幅填满了观众的整个视野，让观众获得真实的临场感和沉浸感。

1838年，第一台立体镜由查尔斯·惠特斯通爵士（Sir Charles Wheatstone）发明，它由两面呈45度角安装的镜子（图1-1-4）反射同一场景的双眼视差图片，让人的左右眼分别看到不同的画面来体验具有真实深度感的场景效果，它被看做红蓝眼镜这类视差设备的鼻祖。

### 2. 20世纪前期的虚拟现实雏形

随着电子技术和计算机技术的出现，人们已经能创造出更多的媒介来模拟人类的感官，虚拟现实的起飞式发展从20世纪才真正开始。

1929年，爱德华·林克（Edwin Link）创建了“Link 训练器”（图1-1-5）并于1931年获得专利，这可能是世界上首个全电动机控制的商用飞行模拟器。“第二次世界大战”期间，超过10000台 Link 训练器用于超过50万名飞行员的模拟训练。

1939年，威廉·格鲁伯（William Gruber）升级制作了 View-Master 眼部设备并获得专利，后被用于“虚拟旅游”。谷歌纸板眼镜和部分售价低廉的 VR 设备沿用了 View-Master 的经典设计原理。图1-1-6是20世纪50年代的 E 型 View-Master 设备。

1957年，电影摄影师莫顿·海里戈（Morton Heilig）发明了 Sensorama 模拟器（图1-1-7）并于1962年获得专利，这是一个可供1~4人进行体验的模拟器，它具有立体声扬声器、立体3D显示器、风扇、气味发生器和振动座椅——旨在刺激五种感官





图 1-1-3 博罗蒂诺战役全景画局部

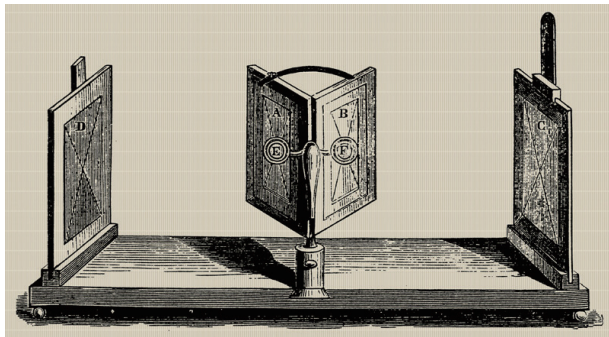


图 1-1-4 世界上第一台立体镜

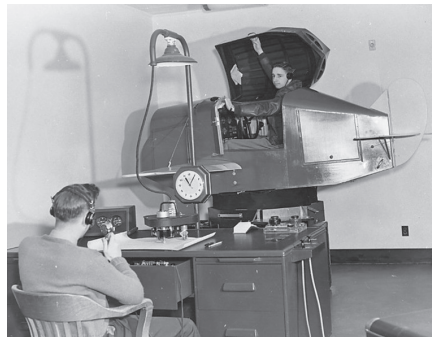


图 1-1-5 Link 训练器



图 1-1-6 E 型 View-Master



图 1-1-7 Sensorama 模拟器

中的四种，即视觉、听觉、嗅觉和触觉。Sensorama 的初衷是打造未来影院，其目的是让观众完全沉浸在电影中。他甚至还发明了手持式35mm 并排双面胶片摄影机，用于拍摄供 Sensorama 模拟器使用的立体短片，这与今天的3D 摄影机非常类似。

Sensorama 模拟器过于超前的理念使它最终难逃失败的厄运，但它为莫顿·海里戈赢得了“虚拟现实之父”的美名。

莫顿·海里戈曾于1960年10月获得 Telesphere Mask 头戴显示设备的专利，这也是他的第一个专利。Telesphere Mask 是第一个提供立体（3D）影像、宽视野和真实立体声的头戴显示器。图1-1-8为莫顿·海里戈的 Telesphere Mask 专利申请图样。

莫顿·海里戈的 Sensorama 模拟器和今天的虚拟现实项目之间有着明显的相关性，Telesphere Mask 可以看做 Oculus 和 Gear VR 头盔的鼻祖。莫顿·海里戈的经验明显影响着当今的“虚拟现实”研发工作，后世的许多发明都是在他的基础工作上取得的进一步发展。

1961年，两位 Philco 公司的工程师科莫（Comeau）和布莱恩（Bryan）开发出了今天所知道的 HMD（头戴显示设备）的第一个前身，即 Headsight（图1-1-9）。它包含覆盖用户眼睛的双目显示屏和磁性运动跟踪系统。Headsight 实际上并不是为虚拟现实应用而开发的（这个术语当时并不存在），而是为了让士兵身临其境地远程查看军事险情。远程相机会同步 Headsight 佩戴者的头部运动，佩戴该设备的士兵从而能自然地查看周围的事物。Headsight 是虚拟现实头戴式显示器发展的第一步，但它未能整合计算机图像技术。

1965年，计算机图形学之父——伊万·萨瑟兰（Ivan Sutherland，图1-1-10）在他的博士论文《终极显示》中对有关计算机图形交互系统方面做了论述，他在论文中首次描述了把电脑的显示屏作为“观看虚拟世界的窗口”的设想。他坚信只要用适当的程序，就有可能在计算机屏幕上重现爱丽丝漫游的奇境，以致于无法区分现实与虚拟世界。

他的理念成为今天虚拟现实概念的核心蓝图，包括以下内容。

- （1）通过计算机硬件来实时模拟和创建虚拟世界；
- （2）通过 HMD 观看虚拟世界；
- （3）通过3D 声音和触觉实现逼真反馈；
- （4）用户能够以自然的方式与虚拟世界中的对象进行交互。

1968年，伊万·萨瑟兰和他的学生鲍勃·斯普劳尔（Bob Sproull）创造了第一个连接到电脑而不是相机上的 VR 头戴式显示器（图1-1-11）。这是一个庞大而笨重的装置，并且需要从天花板悬挂下来（达摩克利斯之剑因此而得名），用户还需要被绑在设备上，计算机生成的图形也是非常简陋的线框房间和对象。

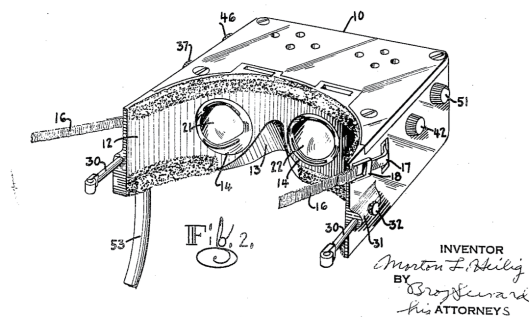


图 1-1-8 Telesphere Mask 专利申请图样

## First HMD (1961)

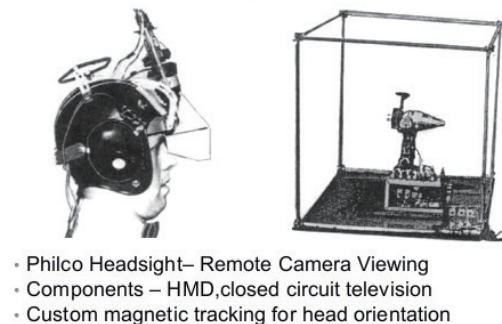


图 1-1-9 Headsight 头戴显示器



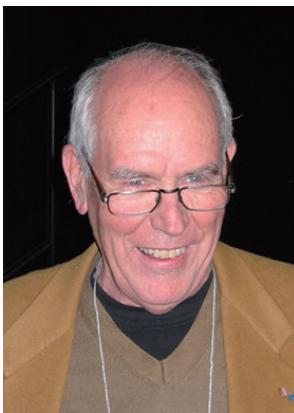


图 1-1-10 伊万·萨瑟兰



图 1-1-11 达摩克利斯之剑

### 3. 虚拟现实的早期商业化探索

20世纪70至80年代是虚拟现实领域令人兴奋的时代。在20世纪80年代中期，美国宇航局埃姆斯研究中心的虚拟接口环境工作站系统将头戴式设备与手套相结合，实现了触觉交互。

任天堂能量手套是第一个正式进入游戏领域的虚拟现实装备，它是从埃姆斯集团 VR 外设 DataGlove 改编而来的设备（图1-1-12）。虽然其功能不佳，但它的独创性证明了虚拟现实的潜在创新能力。

虚拟现实即使经过了历史中的这些发展，但仍然没有一个准确的术语来描述这个领域。1987年，可视化编程实验室（VPL）的创始人亚隆·兰尼尔（Jaron Lanier）正式提出了“虚拟现实”的概念。通过 VPL 公司的研究，亚隆·兰尼尔开发了一系列虚拟现实设备，包括 DataGlove 和 EyePhone 头戴式显示器。它是第一家销售虚拟现实眼镜和手套的公司。

世嘉公司于1993年在美国消费电子展上发布了基于 Sega Mega 驱动器的 Sega VR 头盔（图1-1-13）。它配备了立体声耳机和 LCD 屏幕，头盔中的惯性传感器以100Hz（100次/秒）的速率监测玩家的头部运动，使得系统能够跟踪和响应用户头部的移动。尽管当时世嘉在世界大部分地区主宰着家用游戏机市场，但由于技术研发方面的原因，该设备一直停留在原型阶段，并未上市，这对世嘉来说是一个巨大的失败。

1995年，任天堂在北美发布了虚拟男孩（Virtual



图 1-1-12 任天堂能量手套



图 1-1-13 Sega VR 头盔

Boy）3D 游戏机。它是任天堂的第一个32位游戏机，并被广泛宣传为有史以来第一款可以显示真实3D图像的便携式游戏机（图1-1-14）。它的两个屏幕都包含一个单（红）色的LED显示屏，能够提供384像素×224像素的分辨率，由于使用了这个屏幕，所有的游戏都是黑色和红色的（图1-1-15）。高昂的价格，图形只有红黑两种颜色，缺乏软件支持和并不舒适的用户体验，导致不到一年，任天堂就停止了生产和销售该设备。

从20世纪90年代初期的视频游戏角度来看，虚拟现实被许多人看做继3D图形和游戏之后的发展方向，然而，成本因素使这一目标的实现变得相当艰难。在当时，能够渲染真实可信3D场景的设备非常昂贵，与虚拟世界进行交互的手段尚未有效开发出来。随着研发成本的上升，虚拟现实的泡沫破灭了。

在任天堂虚拟男孩3D游戏机之后，VR商业化也陷入了一个低谷，在随后近20年的时间里，已经没有公司敢涉足VR商业领域。但此时期的技术研

发和产品经验为21世纪的低成本、高质量虚拟现实设备研发铺平了道路。



图 1-1-14 虚拟男孩 3D 游戏机

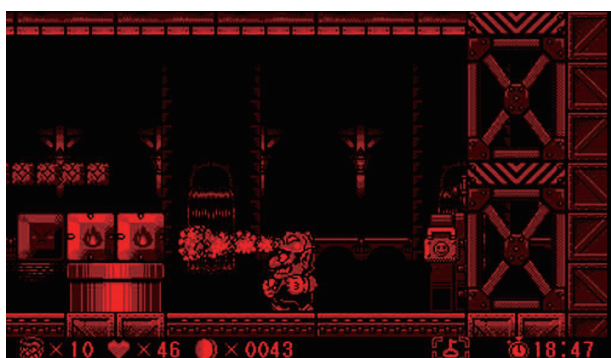


图 1-1-15 虚拟男孩 3D 游戏机游戏运行截图

### 4.21世纪的虚拟现实发展

21世纪头15年，虚拟现实取得了重大而迅速的进展。具有高密度显示器和3D图形功能的智能手机的兴起使得新一代轻便实用虚拟现实设备成为可能。电子游戏产业持续推动着消费者的消费热情。深度传感相机、传感器套件、运动控制器和自然人机界面已经成为主流虚拟现实系统计算任务的一部分。

2012年8月，Oculus Rift 头戴显示器设备登录美国众筹网站 KickStarter 并引起了广泛关注，在一个月内募集近250万美元。2014年3月，Facebook 创始人马克·扎克伯格以20亿美元将其收购，这一行为也间接印证了虚拟现实行业的发展潜能。2016年初，该公司正式对外发售消费者版本 Oculus Rift (图1-1-16)。

2014年10月，谷歌公司发布了虚拟现实产品 Google Cardboard——一种使用智能手机驱动的可

DIY 的头戴显示设备 (图1-1-17)。该产品由谷歌公司设计，但它没有任何官方的制造商或供应商，谷歌在其网站上免费提供零件列表、示意图及组装说明，鼓励大众用极易获取的零件自行组装。

2015年11月，韩国三星公司对 Google Cardboard 的概念进行了升级，推出了基于 Galaxy 系列智能手机的 GearVR HMD (图1-1-18)，该产品包含手势控制等“智能”功能，是三星与 Oculus 公司合作开发的产品。

2016年2月，智能手机厂商 HTC 发布了 HTC VIVE，2018年1月，HTC VIVE Pro (图1-1-19) 于消费电子展发布，它以更高的分辨率来实现高清画质。该头盔佩戴简单，拥有全新人体工学设计，并能通过 VIVE 无线升级套装实现与显卡的无线连接。

2016年是虚拟现实行业的关键一年，被称之为 VR 元年。在20世纪90年代未能兑现承诺的多种 VR 消费设备似乎在这一年都得以实现。



图 1-1-16 Oculus Rift



图 1-1-17 Google Cardboard





图 1-1-18 GearVR HMD



图 1-1-19 HTC VIVE Pro

### 三、虚拟现实系统的分类

虚拟现实系统按照不同的标准有不同的分类。根据 VR 技术对沉浸程度的高低和交互程度的不同,通常可分为桌面虚拟现实 (Desktop VR) 系统、沉浸式虚拟现实 (Immersive VR) 系统、分布式虚拟现实 (Distributed VR) 系统、增强现实 (Augmented Reality, AR) 系统四类。

#### 1. 桌面虚拟现实系统

桌面虚拟现实系统是基于 PC 平台的小型虚拟现实系统。它利用图形工作站和立体显示器产生虚拟场景,参与者使用位置跟踪器、数据手套、力反馈器、三维鼠标,或是其他手控输入设备,实现与虚拟世界的交互。其主要特点如下。

- (1) 全面、小型、经济、适用,非常适用于 VR 工作者的教学、研发和实际应用;
- (2) 缺乏完全沉浸感,容易受外界干扰;
- (3) 主要用于计算机辅助设计与制造、建筑设计、桌面游戏、军事模拟、生物工程、航天航空、医学工程等可视化领域。

#### 2. 沉浸式虚拟现实系统

沉浸式虚拟现实系统利用头盔显示器把用户的

视觉、听觉和其他感觉封闭起来,使用户完全置身于计算机生成的环境中,并产生一种身在虚拟环境中的错觉,可分为头盔、洞穴、座舱、投影等多种类型。其主要特点如下。

- (1) 高度实时性和沉浸感,具备良好的系统整合性;
- (2) 虚拟环境可以是任意虚构的、实际上不存在的世界,任何操作不对外界产生直接作用;
- (3) 一般用于娱乐、训练、模拟、体验等领域。

#### 3. 分布式虚拟现实系统

分布式虚拟现实系统是一个基于网络的可供异地多用户同时参与的分布式虚拟环境。在这个环境中,位于不同物理环境位置的多个用户或多个虚拟环境通过网络相连接,或者多个用户同时参加一个虚拟现实环境,通过计算机与其他用户进行交互并共享信息。在分布式虚拟现实系统中,多个用户可以通过网络对同一虚拟世界进行观察和操作,以达到协同工作的目的。其主要特点如下。

- (1) 共享的虚拟工作空间;
- (2) 伪实体的行为真实感;
- (3) 支持实时交互,共享时钟;
- (4) 多个用户以多种方式相互通信;
- (5) 资源信息共享并允许用户自然操作环境中的对象。

#### 4. 增强现实系统

增强现实系统通过电脑技术将虚拟的信息应用到真实世界中,两种信息相互补充、叠加,并同时存在于同一个画面或者空间中。它的目的在于通过把计算机生成的虚拟对象与真实环境融为一体的方式来增强用户对真实环境的理解,这也是人机交互界面的一个重要发展方向。其主要特点如下。

- (1) 真实世界与虚拟世界互相融合、整合,但彼此不会响应;
- (2) 应用领域更广泛、更安全,相对而言更能保护用户的安全;
- (3) 可运用于军事、医学、工程设计、装配维修、数字娱乐、建筑等领域。

## 第二节 虚拟现实系统的组成与输入输出技术

本节主要介绍当前主流虚拟现实系统的硬件组成部分，系统输入输出相关技术，对应的典型硬件解决方案、关键指标等。

### 一、虚拟现实系统的组成

构建虚拟现实系统的基本手段和目标是利用集成了各种软件和各类先进传感器的高性能计算机，创建具有身临其境沉浸感、完善交互能力的综合信息环境。

构建这样一个虚拟现实系统，在硬件方面需要以下设备的支持。

- (1) 跟踪系统：用来确定参与者与手的位置，以及身体姿势。
- (2) 触觉系统：提供力的反馈。
- (3) 音频系统：提供立体声源并定位空间位置。
- (4) 图像生成和显示系统：产生视觉图像和立体显示。
- (5) 高性能计算处理系统：具有高处理速度、大容量存储、强联网特性的计算机系统。

### 二、虚拟现实输入输出技术

#### 1. 输入技术

##### (1) 头部追踪

头部追踪是当前虚拟现实系统中最为重要的组成部分之一，目前主流的终端设备都已配备该功能。最传统的技术方法是使用加速度计和陀螺仪，但这种方法产生的结果误差较大。目前 Valve 开发的 Lighthouse 技术是体验最好的 VR 光学跟踪方案之一（图1-2-1），它没有采取光学镜头和 Mark 点的定位系统，而是由两个主动激光发射基站构成，每个基站里有一个红外 LED 阵列，其中两个转轴互相垂直



图 1-2-1 HTC VIVE

旋转并交替发射红外激光，作为接收器的头盔表面覆盖的光电传感器负责检测这些激光束，并通过多个传感器的位置差计算出头盔的位置和朝向。

##### (2) 眼动追踪

眼动追踪主要研究眼球运动信息的获取、建模和模拟，目前共有三种主要的技术方案：一是根据眼球和眼球周边的特征变化进行跟踪，二是根据虹膜角度变化进行跟踪，三是主动投射红外线等光束到虹膜来提取特征。眼动追踪技术应用的领域包括心理学、设计学、计算机学和医学等。近几年，许多公司如 The Eye Tribe、Eyefluence、FOVE、Tobbi、七鑫易维（图1-2-2为该公司开发的全球首款 VR 眼球追踪配件 aGlass DKII）等都在开发与 VR 相关的眼动追踪设备，眼动追踪设备大有成为 VR / AR 头盔标准外设的趋势。

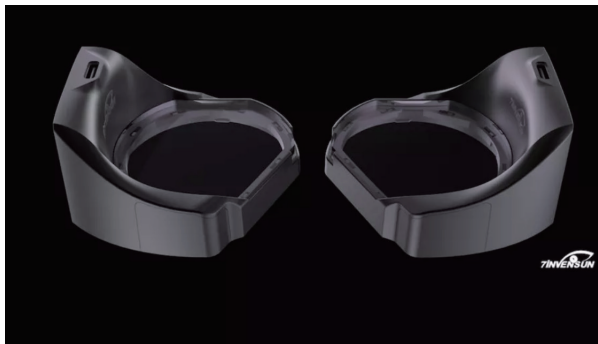


图 1-2-2 aGlass DKII

眼动追踪能给 VR 应用带来以下好处。

①通过识别人眼的注视中心点实现图像渲染资源的分配，即中央视区采用全高清渲染，周边地区逐步降低分辨率，可以大幅降低 GPU 的负荷。

②现实生活中，人们优先以眼球转动来锁定注视目标，而在目前主流的 VR 中多采用头部追踪替代眼部追踪，只有转动头部才能控制视野，而基于眼动追踪的 VR 眼控交互则更为人性化，操作更为自然，并能有效减少眩晕感。

### （3）手部追踪

人们与物理世界进行交互时，主要的交互行为是通过双手来完成的。手部跟踪系统是虚拟现实系统中实现沉浸感和人机交互的关键部件。它分为两大类型，一是基于惯性测量单元的捕捉，二是基于计算机视觉的手势捕捉。当前高端手部追踪设备会同时具备惯性测量单元和视觉跟踪技术，如 HTC VIVE 手柄。

图1-2-3是 Oculus 的 Touch 控制器，它是一对跟踪式控制器，能够在虚拟现实模拟真实的双手。Oculus Touch 采用了类似手环的设计，允许摄像机对用户的手部进行追踪，传感器也可以追踪手指运动，同时为用户带来便利的抓握方式。如果用户需要展开手掌，借助手环的支撑，手柄仍然可以保持原位。这意味着用户无需像使用其他体感控制器或其他虚拟现实手柄一样始终保持抓握。

图1-2-4手势捕捉设备 Leap Motion，也是最具有代表性的手势捕捉设备。它体积极小，能直接嵌入 VR 头盔，控制器采用立体视觉原理，配备双摄像头的控制器如同人眼一样，能够对空间物体进行坐标定位，它还可以检测到手掌中心的坐标、手掌移动的速度、手掌朝向等信息。控制器以超过每秒 200 帧的速度追踪手部移动和10个手指的姿态，精度高达 1/100 mm。

### （4）全身追踪

全身追踪技术同手部追踪一样，也有基于惯性测量单元和视觉跟踪两种技术类型。

微软于2010年6月发布 Kinect，并于2014年10月发布了公共版的第二代 Kinect for Windows 感应器及其软件开发工具包（SDK 2.0）。Kinect 基于



图 1-2-3 Oculus 的 Touch 控制器



图 1-2-4 Leap Motion 手势捕捉设备

3D 体感摄影机技术，同时具备即时动态捕捉、影像辨识、麦克风输入、语音辨识、社群互动等功能，它是第一个也是最接近追踪完整身体动作的技术产品。

图1-2-5是 OptiTrack 公司在2017年游戏开发者大会（GDC）上展示的配备了全身沉浸式追踪附件的 OptiTrack Active，其核心是红外 LED 与 OptiTrack 的低延迟、高帧速率的 Slim 13E 相机同

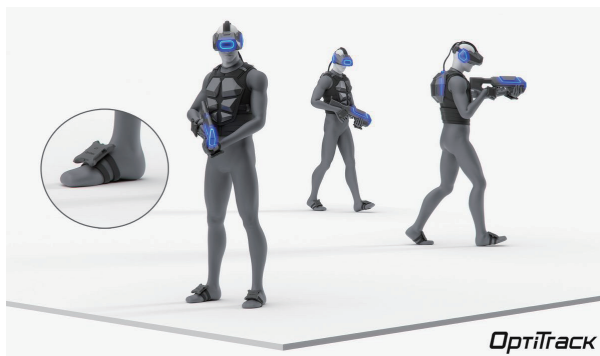


图 1-2-5 OptiTrack Active 全身沉浸式追踪附件

步，从而提供实时标记识别和定位这些追踪设备的功能。这是一种专门针对户外主题公园尺度的虚拟现实体验而量身定制的解决方案。这使得大规模、多用户 VR 体验的制造和部署工作大大简化。

### (5) 语音识别

语音是 VR 交互的另一终极沉浸式指令模式，包括语音识别和分析工具，以及语音文本转换方案。它为用户提供了与任意应用进行沟通的更多选择。

图1-2-6是育碧娱乐旗下的《星际迷航：舰桥船员》VR 游戏截图。在游戏当中，玩家可以使用语音命令与其他游戏玩家和 AI 角色进行交流——这个过程将由 IBM VR Speech Sandbox 实现，用户发出的语音指令将由 IBM 的 Watson 的自然语言处理功能进行分析、解读，并让相应的 AI 角色做出最适当的反应。



图 1-2-6 《星际迷航：舰桥船员》VR 游戏截图

## 2. 输出技术

输出设备用于向用户呈现 VR 的内容或环境，输出设备将计算机的运算结果进行转换，转换后的信息通过人的感知系统与人的一个或多个感知系统相互对应。例如，图像信息对应人的视觉系统，音频信息对应人的听觉系统，力信息对应人的触觉系统等。

### (1) 视觉呈现

视觉呈现系统主要分为头盔和非头盔两种光学显示系统。

头盔显示系统一般由显示器和光学透镜组成，头盔显示设备利用双眼视差原理将两幅具有微小差别的图像分别显示在左右眼屏幕上，用户大脑将两

幅图像进行融合后得到具有立体效果的图像。其特点是由人的躯干和颈部来控制显示定位；其缺点为约束感较强，长时间佩戴会引起运动眩晕症状，造成眼部疲劳。头盔显示系统是当前主流 VR 设备所普遍采用的技术方案。

非头盔显示系统分为台式显示设备和投影式显示设备。

视觉呈现的关键技术参数包括视域、分辨率、色深、刷新率、帧率等。

### (2) 声音呈现

虚拟现实声音呈现的主要设备为耳机和扬声器，是实现沉浸感最为重要的元素之一。大多数虚拟现实设备为用户提供了头盔与耳机配合使用的方法。虚拟现实音频通过定位，多扬声器协同工作并描绘出三维空间的幻觉。音频定位是一种用耳朵“看”的方式，它可以提供线索，由此获得用户的关注，或向他们提供无法直观呈现的信息。

一般而言，耳机更容易达到虚拟现实的应用要求，它也是虚拟现实声音呈现的核心设备，其缺点为必须将设备固定在用户头部；而基于喇叭的扬声器系统是基于头部跟踪的声音空间定位，包括声源感知定位和声音的空间感知特性，其难点是如何控制两个耳膜收到的信号及信号差。

### (3) 触觉和力呈现

触觉和力是人类感知的重要组成部分，利用其反馈信息可以识别并操控特定对象，从而提高任务完成的精度和效率。如果没有触觉呈现，虚拟现实系统中会经常出现虚拟手与对象穿透的问题；如果没有力呈现，人无法感知接触力、表面柔顺和物体质量等信息。

触觉和力呈现是虚拟现实技术中发展较晚的一块，目前的主流虚拟现实系统中只能提供最基本的接触感，无法提供材质、纹理、温度、重力等感觉。

触觉呈现装置一般分为基于视觉、压电刺激、神经肌肉刺激、充气和振动五个技术类别。基于视觉的触觉反馈装置就是用眼睛来判别两个物体之间是否有接触，用户的手指并没有接收到任何接触的反馈信息，这是目前虚拟系统中最普遍使用的方法。



压电刺激式触觉呈现是指用电脉冲信号刺激皮肤来达到触觉反馈的目的。神经肌肉刺激式触觉呈现是通过生成的刺激信号去直接刺激用户相应的感受器官的外壁。由于压电刺激式和神经肌肉刺激式触觉反馈都使用了物理刺激信号，因此该类装置有一定的操作危险性。充气式触觉呈现通过在传感装置中配备可排气和充气的微小气泡，充气时气泡膨胀而压迫皮肤，排气时气泡收缩释放压迫感。振动式触觉呈现通过电动机或共振传动器产生的振动来模拟

触感。

力呈现装置主要用于触觉和动觉反馈，一般分为力反馈操纵杆和力反馈手臂两种技术类别。力反馈操纵杆将操纵杆的运动和屏幕的动作联系起来，与普通的操纵杆相比，其增加了板载处理器、电动机和传动系统。力反馈手臂多为在单一接触点上模拟触觉信号，它通过连接在机械臂上的触针来实现这一目的。

### ▶ 第三节 虚拟现实的行业应用

本节主要介绍虚拟现实技术在教育、医疗健康、旅游等6个行业中的应用情况。

#### 一、虚拟现实技术在教育领域中的应用

##### 1. 学校教育

研究表明，虚拟环境可以激发学习欲望和理解能力，因为它提供了符号和体验信息之间的紧密结合。教育工作者和学生都在寻求身临其境的学习环境，通过各种互动资源，学生与教师可以相互交换学习内容的体验。在这个过程中，虚拟现实无疑具有非常明确的价值。虚拟现实设备、内容提供商，如 zSpace、Alchemy VR 和 Immersive VR Education 等，已向教育工作者提供虚拟教室和虚拟平台用于

创建教学内容，提供创新的交互式虚拟现实和增强现实内容来满足他们的需求，并改变教育内容的传送和消费方式。

当学生戴上 VR 眼镜进入课程虚拟场景的三维环境，进行人、物、景的多重交互时，即可突破空间的限制，无需离开教室，不需要借助潜水艇和宇宙飞船即可体验和探索世界当中的任何地点，如深海、太空，或从长城到金字塔（图1-3-1）。虚拟现实不受时间的限制，可以回到历史场景去回顾特定历史事件，为学生提供额外的背景环境、景观和声音，还能突破物理障碍去体验现实世界中难以直接观察的领域，如人体内部等。

最为重要的是，虚拟现实技术能够激发学生的好奇心，提升学生的学习兴趣。



图 1-3-1 虚拟现实在 K12 教育中的应用

## 2. 职业培训

在职业培训领域运用虚拟现实技术，首先，可降低实践教学经费开支，如学习汽车装配时，学员们不出教室就能完成学习与实训，教师可利用 VR 技术呈现汽车内部的复杂构造、讲解和示范如何拆卸与调试汽车零部件；其次，学员在模拟操作演练时，能直观地“接触”到每个零部件并沉浸其中反复强化学习（图1-3-2）；再次，对于实验环境相对苛刻的训练项目，如要求在无菌室中开展的生化、医学实验，以及存在如中毒、辐射、腐蚀、爆炸、感官伤害风险的化学实验中，运用虚拟现实教学手段可解决这些技术壁垒问题，不仅能规避实操的难度与危险，还可以大大降低实验的成本。

同样，虚拟现实全景教学模式能帮助学习者在“沉浸式”的教学环境中提高学习兴趣与效率。

## 3. 在线教育

VR 技术若切入在线教育的端口，那么在线教育 +VR 就可以带领学习者进入场景式学习体验新时

代，弥补传统在线教育在空间、距离上的物理交互限制。教师可以利用 VR 设备创造多维度结合的交互学习方式，模拟出更为逼真的场景；学生戴上 VR 设备，就可以身临其境地体验与现实相同的情境，在虚拟网络平台上，老师、同学显得触手可及。此外，学习者可与老师、同学一起进入课程内容的虚拟情境，享受真实、立体的学习体验，这更易促成学习者的主动学习行为。

## 4. 校园文化推广

部分国内外院校已开始使用 VR 技术革新校园业务。例如，国外一些高校利用 VR 技术推广校园文化，位于美国佐治亚州的 Savannah 艺术设计学院是第一所大规模使用 VR 技术的高校，它将制作好的校园介绍内容邮寄给已被录取但尚未入学的学生，让学生在入校前能了解和熟悉学校的环境。在学院的网站上，也设有虚拟校园全景漫游版块供人体验和游览（图1-3-3）。

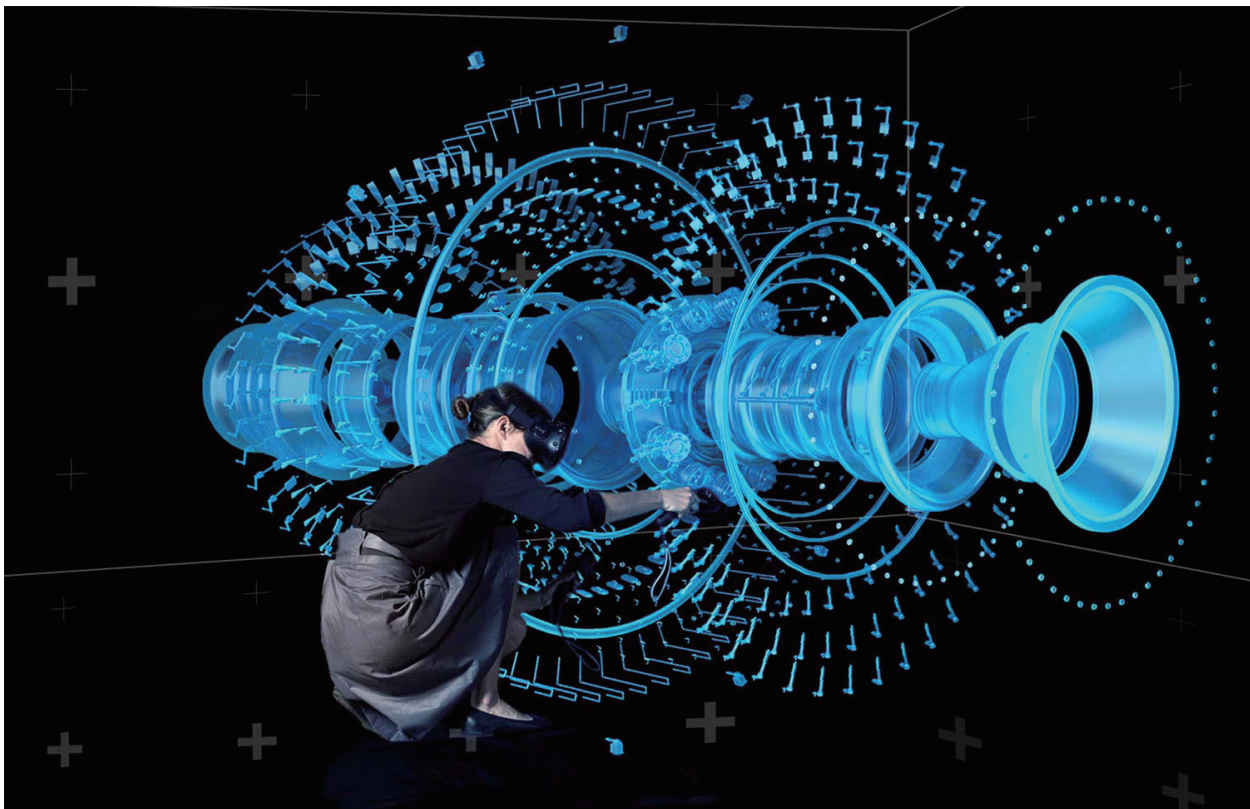


图 1-3-2 燃气轮机虚拟培训项目



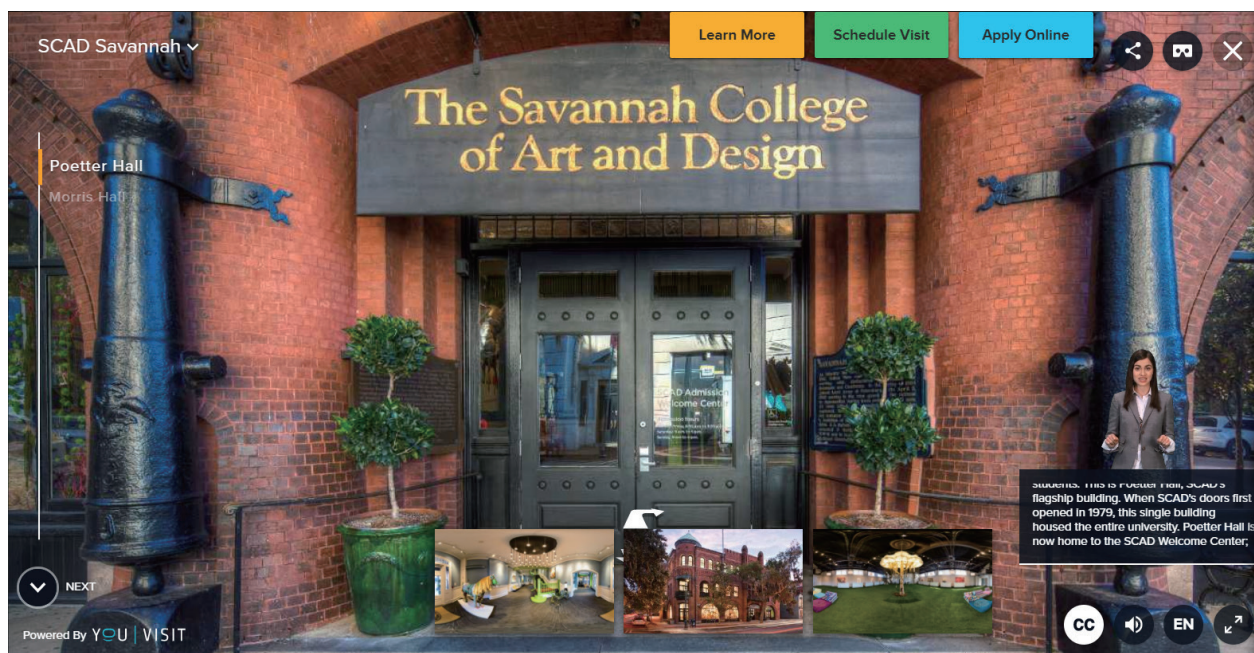


图 1-3-3 Savannah 艺术设计学院 VR 校园推广网站截图

## 二、虚拟现实技术在医疗健康领域中的应用

2016年4月14日，外科医生沙菲·艾哈迈德（Shafi Ahmed）首次在皇家伦敦医院使用虚拟现实相机转播手术。通过现场的两台360°相机的跟踪拍摄，无论是来自医学院的学生，还是记者、病人家属，都可以通过 Medical Realities 网站和应用程序实时观看外科医生如何从病人的肠道中取出癌性组织。

外科医生需要大量的理论知识和实践经验，借助虚拟现实技术，他们在进行手术之前就可以开始训练，甚至可以在没有配备手术刀的情况下协助手术。医学院学生，可以更密切地研究人体，查看、感受和体验手术的细节，从而提高日后手术的精确度并改善患者预后。

虚拟现实技术还可以帮助病人逃脱病房的限制，减缓疾病对其精神和肉体的折磨。虚拟现实已被证明是一种有效的辅助或替代镇痛剂，能

比漫画、电子游戏等其他类注意力分散品有更好的止痛效果。Firsthand Technology 公司的研究数据表明，身临其境的虚拟现实体验可以帮助患者减轻疼痛，缓解压力，并建立正确的适应能力，它将慢性疼痛的不愉悦感降低了38%，而镇痛类药物仅能降低16%。图1-3-4为 Firsthand Technology 公司开发的 COOL 疼痛管理应用程序截图。

虚拟现实也可以帮助普通人群克服各种心理障碍，为此类疾病提供独特的治疗方法。医生将患者



图 1-3-4 Firsthand Technology 公司出品的 COOL 应用程序截图



“浸入”代表其恐惧或创伤经历的虚拟环境中，为病人提供焦虑症、特殊恐惧症或创伤后应激障碍的暴露疗法。

### 三、虚拟现实技术在旅游行业中的应用

随着虚拟现实的普及，旅游业迎来了一种无需打包、无需计划且足不出户即可探索世界的新型旅游方式——虚拟旅行，其已被旅游业视为提高预订和收入的有效营销工具。

虚拟旅行将改变现有旅行方式，它能提供身临其境的交互数字内容，使用户在旅程开始之前就能感受到逼真的旅行体验——无论是选择目的地还是预订酒店和航班，虚拟旅行通过照片、视频、360°全景图片等形式，将信息获取、产品购买和服务预订等功能合并起来，从而帮助消费者高效制定出行

计划，并实现消费意愿到消费行为的转化。酒店和航空公司也正在以虚拟现实作为营销工具，如香格里拉酒店集团率先将VR融入全球酒店销售业务，为其所有物业制作了360°全景视频。

虚拟旅行可以让人足不出户便饱览天下美景，用户可以便捷地选择游览目的地，一些消失的文化遗址也能通过数字技术重建并供人游览，从这一点而言，虚拟旅游延伸了景点的种类。对于一些需要保护的遗址，虚拟旅行提供了间接保护，并降低了遗址的维护费用。

图1-3-5为Sólfar工作室和RVX公司联合开发的虚拟珠穆朗玛峰登山体验节目的截图，该节目采用先进的游戏引擎和数字绘图技术，超过30万张珠峰高清图像经过拼接处理后为其超写实画面提供了质量保证。



图 1-3-5 虚拟珠穆朗玛峰登山体验截图

### 四、虚拟现实技术在建筑地产行业中的应用

虚拟现实应用于建筑地产行业时，可为用户提供全方位互动的规划、装修、看房等活动的全新方法。

城市、小区、厂房等规划设计方案不再局限于图纸、效果图、三维动画和沙盘。图纸无法直观地还原设计方案，效果图仅提供静态局部的视觉体验，三维动画虽然具有较强的视觉表述能力，但用户只能沿着事先设定的摄影机轨迹被动浏览，无法自主选择观察的位置和顺序。沙盘只能获取建筑规划的鸟瞰形象，无法深入至建筑单元内部自由观察。使用虚拟现实技术将计算机生成的三维图形与实景摄影结合在一起，可创建出“照片写实级”的虚拟场景，用户可通过视图进行导航，全方位自由审视楼宇楼层的布局、屋顶公共区域、房屋内景和窗外的真实街景。

虚拟现实技术可让装修设计变得更加自主和便捷，传统的装修设计一般由专业设计师制作和提供设计方案，其人力成本高，且与客户沟通和修改的效率较低。利用虚拟现实技术，客户可参与或主导

整个设计活动，利用成熟的虚拟现实装修设计平台，用户只需要在虚拟空间中直观地选择素材库中提供的主材、家具、灯具等物品自由摆放，应用智能色彩解决方案，即能快速生成互动三维虚拟装修方案。通过后台服务器的数据处理，还能实时获取整个装修设计的原材料、物件的供货信息、单价和总体造价。

在地产销售领域，虚拟现实技术给代理商和买家提供了一种全新的体验方式，这种方式能有效提升销售和消费体验。当把客户置身于一个真实的 VR 看房环境中时，他们会自然地理解空间并对所购商品有系统而真实的认知，会具有更强的信心去实施房屋购买计划。对于地产销售人员而言，也能帮助他们节省大量现场服务时间。

roOomy 是一个提供虚拟展台服务的公司，为客户提供物业虚拟展示解决方案。客户只需提交物业相关的照片和必要的尺寸、材质信息，经由其服务团队处理即可快速还原成三维虚拟交互展示作品，由此为客户节省宝贵的时间并提高销售效率（图 1-3-6）。客户也可以自行从超过10万个家具和家居用品的目录中对任何房间或空间进行虚拟装饰。

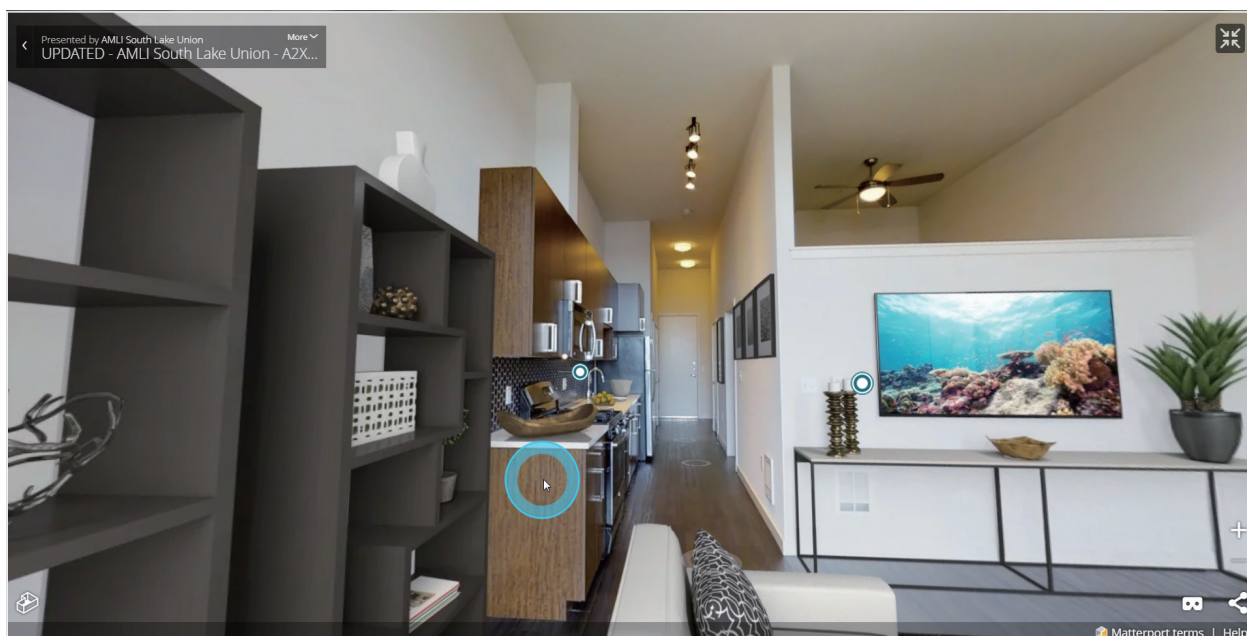


图 1-3-6 物业虚拟展示截图



## 五、虚拟现实技术在游戏领域中的应用

虚拟现实游戏已经流行多年，尽管目前仍存在诸多技术难题，但在过去几年中，虚拟现实技术在游戏市场中获得越来越多的重视，虚拟现实游戏产业已经形成显著的市场规模，并呈现快速增长的趋势。虚拟现实正在重建互动娱乐概念并试图颠覆产业相关的游戏开发、游戏推广运营和游戏体验，它是虚拟现实技术发展的主要推动力量。

2016年，全球共有230家VR开发公司生产虚拟现实硬件和软件。据 Statista 公司预测，到2018年底，将有大约1600万“硬核”游戏玩家和超过4100万“轻量级”玩家积极使用VR软件和硬件。基于这些数据和海量游戏玩家的需求，专家预测VR游戏市场年增长率可达25%~27%，2025年总收入将超过45亿美元，中国有望成为虚拟现实游戏的主要市场。

虚拟现实游戏引入了沉浸式体验，360°的画面和写实的图像提供了极佳的临场感，为用户带来近乎完美的体验。新的追踪器和控制器能将交互操作

带入一个全新的层面（图1-3-7）。

虚拟现实游戏的主要类型包括第一人称射击游戏、竞速游戏、恐怖游戏、冒险游戏、策略经营游戏和生活模拟社交游戏。虚拟现实游戏是社交互动的媒介，许多游戏都与社交网络相关联，在带有通信或网络组件的虚拟现实游戏中，玩家可以在线上整体互动。

## 六、虚拟现实技术在电商领域中的应用

VR 电子商务仍处于起步阶段，但虚拟现实具备颠覆传统电子商务的能力，如开发虚拟卖场来展示和销售商品，消费者在虚拟空间中体验和试用商品等。

包括 North Face 和 IKEA 在内的许多零售商已经通过移动应用和头戴设备来帮助消费者体验和尝试VR销售模式，尝试将VR作为客户参与的一种形式。越来越多的品牌会在不久的将来将VR销售模式应用到创收策略中，用于帮助店内员工提高销售业绩。North Face 是最早的VR销售服务供应商之一，其线下实体店提供Oculus Rift头戴显示设备用



图 1-3-7 Omni 多用户 VR 游戏平台

## 虚拟现实应用设计

于导购，如果购物者寻找冬季服装，那么头戴显示设备会呈现有着成群哈士奇陪伴的雪地图景（图 1-3-8）。这种销售方式有效地加强了客户的参与度，他们因此极有可能购买之前未曾考虑购买的产品。

家具零售商 IKEA 以新的移动体验帮助消费者

进入虚拟现实的购物环境，使用户能够探索各种厨房内部设置，并通过个人喜好来改变配色方案。尽管购物者还不能直接购买这些产品，但这种虚拟购物环境能够有效地吸引潜在客户，他们随后可能会在移动设备上浏览其厨房用品。



图 1-3-8 雪地冒险场景